**Стандарт IPC-9701A**

# Методы испытания эксплуатационных характеристик и требования по проверке для паяных соединений поверхностного монтажа.

## Содержание

**Рисунки**



**Таблицы**





## 1. ОБЩЕЕ

Данная спецификация описывает специальные методы испытаний для оценки эксплуатационных характеристик и надежности паяных соединений поверхностного монтажа электронных узлов. Далее в ней описывается различные уровни эксплуатационных характеристик и надежности паяных соединений устройств при монтаже на поверхность для жестких, гибких и комбинированных схем. Дополнительно она предоставляет приближенные средние значения соотношения результатов данных испытаний и надежности паяных соединений для условий использования электронных узлов.

**1.1 Цель** Целью данного документа является следующее:

- Обеспечение уверенности в том, что в результате процессов конструирования производства/сборки был создан продукт, отвечающий намеченным целям.
- Предоставление возможности аналитического прогнозирования надежности, основываясь на обобщенной базе данных и техническом понимании.
- Обеспечение стандартизированных методов испытаний и процедур отчетности.

**1.2 Классификация эксплуатационных характеристик** Данная спецификация признает, что узлы поверхностного монтажа (УПМ) будут зависеть от вариаций в требованиях к эксплуатационным характеристикам в зависимости от конечного использования. Хотя классы эксплуатационных характеристик определены в стандарте IPC-6011, *Обобщенная спецификация эксплуатационных характеристик для печатных плат*, данные классификации

эксплуатационных характеристик не характерны для требуемой надежности. В данный момент времени требования надежности необходимо выработать по соглашению между заказчиком и поставщиком.

**1.3 Определения терминов** Определения всех используемых в данном документе терминов должны быть такими же, как и те, которые определены в стандарте IPC-T-50, если не указано иначе в Разделе 3.

**1.4 Интерпретации** Понятие **«должно»** используется на протяжении всего документа всегда, когда в требовании намереваются выразить условие, являющееся обязательным. Отклонения от такого требования могут быть рассмотрены при предоставлении данных достаточных для обоснования исключения.

Слова «следует» и «может» используются всегда, когда необходимо выразить необязательные условия. «Будет» используется для выражения заявления о намерениях.

Для удобства слово **«должно»** выполнено жирным шрифтом.

**1.5 Изменения в редакции** Изменения, сделанные по отношению к данной редакции стандартаIPC-9701, включают в себя Приложение В с основными направлениями для требований к термическому циклу для соединений бессвинцовым припоем. Приложение В дает дополнительные рекомендации к существующим требованиям стандарта IPC-9701 при использовании процессов бессвинцовой пайки.

## 2 ПРИМЕНЯЕМЫЕ ДОКУМЕНТЫ

Следующие документы применяются и составляют часть данной спецификации в объеме, определенном в данном документе. Последующие выпуски данных документов или поправки к ним станут частью данной спецификации.

Документы сгруппированы по категориям: IPC, объединенный промышленный стандарт, ITRI, EIA и другие, в зависимости от источника.

**2.1 IPC**

**IPC-T-50** Термины и определения для подсоединения и заключения в корпус электронных схем

**IPC-D-279** Руководство по проектированию для надежных улов печатных плат, выполненных по технологии монтажа на поверхность.

**IPC-TM-650** Р уководство по проведению испытаний

2.1.1 Микросекционирование

2.4.1 Прилипание, металлическое покрытие

2.4.8 Прочность на отрыв, металлическая фольга

2.4.21.1 Прочность соединения, площадка для поверхностного монтажа (Метод перпендикулярной тяги)

2.4.22 Изгиб и скручивание

2.4.36 Имитация переделки, сквозные металлизированные отверстия

2.4.41.2 Коэффициент теплового расширения, тензометрический метод

2.5.7 Напряжение, выдерживаемое диэлектриком, материал печатной разводки

2.6.5 Механический удар, многослойная печатная разводка

2.6.7.2 Тепловой удар, жесткая печатная плата

2.6.8 Тепловое напряжение, сквозные металлизированные отверстия

2.6.9 Вибрация, жесткая печатная разводка

**IPC-SM785** Руководство по экспресс-испытаниям на надежность паяных соединений поверхностного монтажа

**IPC-S-816** Руководство по процессам, выполняемым по технологии монтажа на поверхность, и карта технологического контроля

Стр.2

**IPC-7711/21** Руководство по ремонту и переделке
**IPC-9252** Рекомендации и требования по электрическим испытаниям незаполненных печатных плат
**IPC-9501** Моделирование процесса сборки печатных плат для оценки электронных компонентов
**IPC-9502** Рекомендации по процессам пайки при сборке печатных плат для электронных компонентов
**IPC-9504** Моделирование процесса сборки для оценки компонентов, не входящих в состав интегральных схем (Подготовка компонентов, не входящих в состав интегральных схем)

**2.2 Объединенные промышленные стандарты**

**J-STD-001** Общие требования по пайке электронных межкомпонентных соединений
**J-STD-002** Испытания на паяемость для компонентной электропроводки, концевых заделок, зажимов, клемм и проводов
**J-STD-003** Испытания на паяемость для печатных плат
**J-STD-020** Чувствительность к напряжению, вызванному влажностью, для классификации пластиковых устройств с поверхностным монтажом интегральных схем

**2.3 Международный институт исследования олова (ITRI)**

**ITRI Pub #580** Металлография олова и оловянных сплавов
**ITRI Pub #708** Металлургия паяных соединений в электронике

**2.4 Другие публикации**

**2.4.1 Ассоциация электронной промышленности**

**JESG22-A104-B** «Циклическое воздействие температуры», июль 2000г.
**JESG22-B117** «Срез шарика корпуса BGA», июль 2000г.

**2.4.2 Рабочая группа изготовителя комплексного оборудования**

**SJR-01 Rev.2** «Стандарт на условия испытаний по надежности паяных соединений», февраль 2001г.

## 3 ПОНЯТИЯ, ОПРЕДЕЛЕНИЯ И ОБЩИЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ

**3.1 Общее** Для гарантии надежности паяного присоединения электронных компонентов поверхностного монтажа к основанию печатной платы, требуется использование методики проектирования с учетом надежности (смотри IPC-D-279), **а в некоторых случаях проверка** путем проведения квалификационных испытаний на определение категорий изделий и условий эксплуатации. Чем сложнее компоненты или узел, тем больше испытаний может потребоваться для проверки надежности.

Во время использования паяные соединения поверхностного монтажа могут подвергаться различным видам нагружения, которые могут привести к преждевременному отказу. Основное предположение заключается в том, что паяные соединения были тщательно смочены, формируя хорошее металлургическое сцепление между припоем и основным металлом компонента и печатной платой. Это гарантирует, что преждевременные отказы,

случающиеся в период приработки или в начальный период эксплуатации, не произойдут из-за дефектных паяных соединений.
Следующие условия нагружения могут иметь место либо по отдельности, либо один за другим, либо одновременно и могут объединиться и стать достаточно значительными для возникновения отказа паяного соединения поверхностного монтажа:
А) Дифференциальное тепловое расширение.
Б) Вибрация (транспорт).
В) Тепловой удар (резкое изменение температуры, приводящее к кратковременному дифференцированному искривлению) во время охлаждения в результате пайки или суровых условий эксплуатации.
Г) Механический удар (высокое ускорение) в результате суровых условий эксплуатации или случайного неправильного использования.
Надежность устройства поверхностного монтажа, установленного на печатную плату, - это функция целостности паяного соединения и взаимодействий «устройство - печатная плата». Термомеханическое нагружение корпуса со стороны печатной платы через паяные межсоединения может стать причиной отказов в других частях корпуса. Тестирование на компонентном уровне в разъеме не дает характерного нагружения «деталь - печатная плата». Возросшее использование штампованных разводок беспроводных соединений для многочисленных структур CSP и корпусов BGA с высоким числом выводов может увеличить вероятность «неожиданных» внутренних отказов компонентов во время испытаний на уровне печатной платы.
Для того чтобы удостовериться в том, что паяное соединение узлов поверхностного монтажа отвечает ожиданиям по надежности в предполагаемых условиях эксплуатации, часто необходимо подтвердить надежность для некоторых конкретных случаев применения, даже после того как были приняты соответствующие меры по проектированию с учетом надежности. Из-за характеристик припоя, зависящих от времени, таких как ползучесть и релаксация напряжений, данные по усталостному повреждению и усталостной долговечности, полученные экспресс-испытаниях, не равноценны таковым при эксплуатации, но предположительную оценку надежности изделия можно получить из результатов экспресс-испытаний, используя соответствующие коэффициенты учащения отказов.
**3.2 Общие представления по надежности** В контексте данного документа важно иметь рабочее определение надежности, а также хорошее понимание физической сущности отказа и статистического распределения частоты отказов.



**3.2.1 Определение надежности** Способность изделия (паяных соединений поверхностного монтажа) функционировать в заданных условиях и в течение определенного периода времени без превышения приемлемого уровня отказов.
**3.3 Общее представление физической сущности отказа**
**3.3.1 Ползучесть** Вязкопластическая деформация, зависящая от времени, как функция приложенного напряжения и температуры.
**3.3.2 Релаксация напряжений** Вязкопластическая деформация, зависящая от времени, снижающая напряжение, преобразуя упругую деформацию припоя в пластическую.

**3.3.3 Модель совместного действия ползучести и усталости на припой** Аналитические модели, основывающиеся на эмпирических данных, которые оценивают срок службы паяных соединений, подверженных цикличному воздействию ползучести и усталости. Расчеты результатов испытаний на надежность, надежности изделия и коэффициенты учащения отказов в данном документе могут быть определены по модели Энгельмаера-Уайлда (смотри IPC-D-279, Приложение А-3.1) или по другой подходящей проверенной модели. В модели усталости припоя Энгельмаера-Уайлда переменный показатель усталостной вязкости определяет характерный наклон кривой, который соотносит усталостную долговечность с энергией цикличной вязкопластической деформации, воздействующей на припой. Данный показатель является эмпирическим и представляет собой функцию времени и температуры в отличие от постоянного показателя, используемого в уравнении Коффина-Мэнсона, которое было выведено для неползучих металлов.

**3.3.4 Дифференциальное тепловое расширение** Разность в тепловом расширении и сокращении между материалами, которые происходят в результате температурных изменений во время эксплуатации или испытаний на надежность. Тепловые расширения и сокращения определяются по коэффициенту теплового расширения материалов. Выделяются две (2) формы дифференцированного теплового расширения:

1) «общий» неудачный подбор по тепловому расширению, который является неудачным подбором по тепловому расширению между компонентами и основаниями.
2) «местный» неудачный подбор по тепловому расширению, который является неудачным подбором по тепловому расширению между самим припоем и материалами, на которые он нанесен.

**3.4 Параметры испытаний:** Примечание: Любое определение, обозначенное звездочкой (*), взято из стандарта JESD22-A104-B.

**3.4.1 *Рабочая зона** Объем в камере, в которой температурная нагрузка контролируется в пределах заданных условий.

**3.4.2 Цикличный диапазон/размах температур** Разница между максимальной и минимальной температурами, влияющими во время эксплуатации или термоциклирования. Смотри Рис. 3-1, Таблицу 3-1 и Таблицу 4-1.

**Рис. 3-1 Характерный профиль температуры для условий термоциклирования (Рисунок 3-1 на основании Рисунка 1, Приложение А стандарта )**

Смотри оригинал:

1- Профиль температуры
2- Температура
3- Время
4- Цикличный диапазон температур
5- Верхнее время покоя
6- Номинальная температура (мин.)
7- С допуском
8- Нижнее время покоя
9- Продолжительность цикла
10- С допуском

11- Номинальная температура (макс.)

Стр.4

**Таблица 3-1 Категории изделий и случаи наихудших условий эксплуатации для электроники поверхностного монтажа (только для справки)** (данные смотри в оригинале)

| Категория изделия (типичное примене-ние) | Температура, ° C/°F (1) | | Наихудшие условия эксплуатации | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | хранение | эксплуатация | Tmin (2) °C/°F | Tmax (2) °C/°F | $\Delta T^{(3)}$ °C/°F | $T_D^{(4)}$ часов | Циклов /год | Годы обслуживания | Примерный приемлемый риск отказа, % |
| Потребитель | | | | | | | | | |
| Компьютеры и периферийное оборудование | | | | | | | | | |
| Телекоммуникации | | | | | | | | | |
| Коммерческие самолеты | | | | | | | | | |
| Промышленность и автомобили – пассажирский салон | | | | | | | | | |
| Военные (наземное и морское применение) | | | | | | | | | |
| Космос НОО ГОО | | | | | | | | | |
| Военные самолеты А Б В Обслуживание | | | | | | | | | |
| Автомобили (под капотом) | | | | | | | | | |

& = кроме того

(1) Все категории могут подвергаться воздействию температурного диапазона от 18°С до 260°С.

(2) Tmin и Tmax – максимальная и минимальная рабочие температуры (испытания)соответственно, не определяют разницу температур ΔT
(3) ΔT представляет максимальный размах температур, но не включает в себя эффекты рассеяния мощности; для рассеяния мощности рассчитайте ΔT; рассеяние мощности может значительно ухудшить точность ускоренного термоциклирования. Следует отметить, что температурный диапазон, ΔT, не является разницей между Tmin и Tmax; ΔT – обычно значительно меньше.
(4) Период покоя, $T_D$, - время доступное для ползучести паяных соединений во время каждого температурного полуцикла.

Стр.5

**3.4.3 *Температура образца: Ts** Температура образцов во время термоциклирования, измеряемая термопарами или эквивалентным оборудованием для измерения температуры, прикрепленными к или помещенными в тело образцов. Термопара или эквивалентное оборудование для измерения температуры, используемые при присоединении, должны гарантировать, что вся масса образца(ов) отвечает требованиям по крайним значениям температуры и покою/выдержке.

**3.4.4 *Максимальная температура образца: Ts(max)** Максимальная измеренная температура, воздействующая на образец(образцы).

**3.4.5 Максимальная номинальная температура: T(max)** Максимальная номинальная температура для особого условия испытания – это необходимая температура образца Ts(max), смотри Таблицу 4-1.

**3.4.6 *Минимальная температура образца: Ts(min)** Минимальная измеренная температура, воздействующая на образец(образцы).

**3.4.7 Минимальная номинальная температура: T(min)** Минимальная номинальная температура для особого условия испытания –это необходимая температура образца Ts(max), смотри Таблицу 4-1.

**3.4.8 Средняя температура цикла: $T_{SJ}$** Среднее значение максимальной номинальной температуры и минимальной номинальной температуры; смотри Уравнение 4, Приложение А.

**3.4.9 Номинальная ΔT** Разница между максимальной номинальной температурой и минимальной номинальной температурой для особого условия испытания; смотри Таблицу 3-1.

**3.4.10 Время покоя/выдержки, $t_D$** Общее время, когда температура образца находится в пределах определенного диапазона каждой номинальной максимальной и минимальной температур (смотри Таблицу 4-1). Время покоя особенно важно для экспресс-испытаний, поскольку во время экспресс-испытаний процесс ползучести в существенной степени не завершен. Покой предусматривает коррекцию эффекта неполного процесса ползучести относительно температурных циклов эксплуатации изделия, которые обычно бывают достаточно долгими для того, чтобы процесс ползучести был завершен при каждом периоде покоя цикла.

**3.4.11 Температура покоя/выдержки** Температура, которая выше максимальной температуры для верхнего предела цикла и ниже минимальной для нижнего предела цикла. Смотри Таблицу 4-1.

**3.4.12 Время цикла** Время для одного полного температурного цикла. Смотри Рисунок 3-1.

**3.4.13 *Скорость изменения температуры** Скорость повышения или понижения температуры на единицу времени для образца(образцов). Скорость изменения температуры следует измерять для линейной части кривой профиля, которая обычно составляет диапазон от10 до 90% температурного диапазона особого условия испытаний. Примечание: Скорость изменения может зависеть от нагрузки и ее следует проверять в зависимости от испытываемой нагрузки.

**3.4.14 Область максимальной циклической деформации** Область суммарной деформации, испытываемой во время воздействия циклично вызываемых температурных или механических деформаций.

**3.4.15 Область максимального циклического напряжения** Область суммарного напряжения, испытываемого во время воздействия циклично вызываемых температурных или механических деформаций. Для припоя, находящегося в температурном диапазоне, где имеет место ползучесть, область напряжения и область деформации не зависят друг от друга (что отличается от неползучих металлов, для которых кривая «напряжение-деформация» устанавливает уникальное соответствие между напряжением и деформацией), поскольку существует другая кривая зависимости деформаций от напряжения для каждой температуры и скорости деформации. Модуль и предел текучести зависят от температуры и скорости деформации, а максимальное напряжение, испытываемое паяными соединениями, строго зависит от совместимости присоединенных конструкций, н-р, совместимые выводы.

**3.4.16 Петля гистерезиса** Данная петля схематически изображает деформативность паяных соединений во время цикла нагружения. Область петли гистерезиса определяет энергию вязкопластической деформации в цикл и является мерой усталостного повреждения в цикл. Размер петли гистерезиса зависит от области деформации, области напряжения, цикличного времени покоя и, в меньшей степени, от средней цикличной температуры.

**3.4.17 Проектный срок службы** Необходимая продолжительность эксплуатационного срока службы единицы оборудования , которая остается полностью функциональной при помещении в предполагаемые условия эксплуатации.

**3.4.18 Расчетный срок службы** Срок службы, рассчитанный по модели при помощи результатов экспресс-испытаний, которая соотносит число усталостных циклов с данной суммарной приемлемой вероятностью возникновения отказов.

**3.4.19 Ранние отказы** Отказы, возникающие во время отбраковочных испытаний в условиях внешнего нагружения, испытаний на принудительный отказ, первоначального функционального испытания и/или в начале эксплуатации, являются в первую очередь результатом несоответствующего качества и/или неправильного производственного процесса.

**3.4.20 Случайные отказы устойчивого состояния** Это – период срока полезного использования, во время которого отказы случаются по-видимому случайно или очень редко, слабо относясь к сложности изделия. Для паяных соединений данный период не измерим, так как он может не существовать или иметь очень низкую частоту отказов.

**3.4.21 Отказы вследствие износа** Износ определяется как процесс, при котором повреждение аккумулируется со временем, и возникновение отказов постоянно возрастает, поскольку изделие деградирует из-за усталости или из-за другого механизма износа.

Это- отказы вследствие износа, происходящие из-за совместного действия ползучести и усталости на паяных соединениях, которые и являются темой данного документа.

**3.5 Общие представления по статистическому распределению отказов**

**3.5.1 Статистическое распределение отказов** Отказы, в особенности из-за износа, не происходят все сразу, а распределены во времени. Статистическое распределение Вейбулла – наиболее подходящее статистическое распределение, используемое для износовых отказов; однако, иногда используется также логарифмически нормальное распределение. Для распределения Вейбулла необходимы два (2) определяющих параметра: (1) наклон Вейбулла (мера степени распространения распределения), и (2) некоторое отсекаемое значение (обычно N(63,2%) – характерная долговечность распределения Вейбулла, но иногда N(50%) – средняя усталостная долговечность. На диаграммной бумаге с распределением Вейбулла при помощи двух определяющих параметров измеренные данные вычертят схему в виде прямой линии, часто упрощая анализ данных.

**3.5.2 Средняя усталостная долговечность, N(50%)** Период времени за который отказала половина заданного образца.

**3.5.3 Безотказный срок службы, $N_O$** Период времени (или число циклов), предшествующий первому отказу (Данный параметр используется в трехпараметрном (3-Р - с опорой на три параметра) статистическом распределении Вейбулла.)

**3.5.4 Общее процентное соотношение отказов** Во время испытаний общее процентное соотношение отказов образца i рассчитывается по формуле F (i) = i/(n + 1), где i – ранжирование данного образца.

**3.5.5 Общая вероятность отказов** Для конструирования необходимая надежность обычно определяется, как «общая вероятность отказов», которую нельзя превышать в заданный расчетный срок службы.

**3.5.6 Приемлемая общая вероятность отказов** Максимально разрешенный процент дефектов/отказов в конце срока службы.

**3.6 Испытания на надежность**

**3.6.1 Экспресс-испытания на надежность** Испытание, в котором механизм(ы) разрушения, касающиеся условий эксплуатации, форсируется(ются) для вызова отказов в меньшие сроки, чем при эксплуатации. Ускорение испытаний становится результатом сокращения циклов и усиления условий нагружения; однако, введение посторонних механизмов разрушения должно быть исключено. Эксплуатационная долговечность может быть рассчитана с применением соответствующих коэффициентов учащения отказов.

**3.6.2 Термоциклирование** Воздействие на узлы цикличными температурными изменениями, при котором скорость изменения температуры достаточно низка, чтобы избежать теплового удара (обычно меньше или равна.) Максимальная температура для термоциклирования должна быть на 25˚C [45˚F] ниже температуры стеклования ($T_g$) материала печатной платы.

Следует заметить, что температурные циклы, выходящие за пределы -20˚C [-4˚F] или 110˚C [230˚F] или включающие в себя как низкие, так и высокие температуры (для околоэвтектических свинцово-оловянных припоев), могут подвергнуть паяные соединения больше, чем одному механизму разрушения. Данные механизмы имеют тенденцию ускорять друг друга, что может привести к ранним отказам; более того, из-за смешивания нескольких

механизмов разрушения обращение к результатам испытаний, проведенных в таких условиях, должно производиться с учетом данного факта

**3.6.3 Тепловой удар** Тепловой удар происходит тогда, когда узел подвергается быстрым изменениям температуры, приводящим к временным температурным градиентам, короблению, напряжениям в пределах одной детали и/или узла. При тепловом ударе скорость изменения температуры обычно превышает 20°С [36°F]/мин.

**3.6.4 Энергоциклирование** Энергоциклирование может более точно моделировать условия эксплуатации, чем термоциклирование для электронных устройств, которые часто включаются и выключаются.

**3.7 Другие испытания**

**3.7.1 Испытания на принудительный отказ** В данном испытании берется законченное изделие и помещается в плановом порядке в нормальные, возможно наихудшие, но все же реальные условия эксплуатации. Данное испытание не является экспресс-испытанием на надежность.

**3.7.2 Отбраковочные испытания в условиях внешнего нагружения** Данная процедура отбраковки использует нагрузки, которые образуются во внешней окружающей среде, для перегрузки «слабых» элементов узла до критической точки. Она предназначена для предотвращения того, чтобы скрытые дефекты добрались до места эксплуатации и возможно стали причиной отказов во время эксплуатации. Окружающие условия, вызывающие данные нагрузки, могут иметь или не иметь отношение к условиям, в которых будет находиться изделие во время эксплуатации. После отказа элементы могут быть выявлены и либо отремонтированы, либо заменены, либо отбракованы и, возможно, доработаны для использования в будущем на другом изделии. Данная процедура должна быть выполнена без значительных повреждений «нормальных» элементов узла. Данная процедура не является экспресс-испытанием на надежность.

**3.7.3 Нагрузочные испытания по сильно ускоренной программе** Данные нагрузочные испытания используются для моделирования механизмов разрушения, связанных с коррозией, с электрическим смещением при воздействии усиленного нагрузочного сочетания температуры и влажности. Данные испытания могут использоваться относительно компонентов и узлов, но они также не являются экспресс-испытаниями на надежность для паяных соединений.

**3.7.4 Механический удар** Механический удар определяется как быстрый перенос механической энергии на систему, который приводит к значительным изменениям в напряжении, скорости, ускорении или смещению в пределах системы.

**3.7.5 Вибрация** Вибрация в узлах определяется как периодическое или случайное разнонаправленное движение с места равновесия. Прилагаемая нагрузка обычно ниже предела текучести материалов.

**3.7.6 Квалификационное испытание процесса** Это – специальное испытание или комплект испытаний, которые подтверждают, что процесс, используемый для производства изделия, отвечает техническим условиям.

**3.7.7 Проверка процесса** Периодическая оценка используемого процесса для гарантии его оптимизации или для исключения отклонений в процессе.

**3.8 Оценка и применение** Таблица 3-1 показывает общие условия хранения и эксплуатации, а также случаи наихудших условий эксплуатации для

девяти наиболее распространенных категорий изделия. Данную таблицу следует использовать только для справки.

**3.9 Понимание технологии паяных соединений** Припой уникален среди металлов, используемых в проектировании, из-за своих свойств, зависящих от температуры, времени и нагрузки для условий типичного использования. Например, эвтектический свинцово-оловянный припой с готовностью ползет и релаксирует напряжение при температуре выше 20°С [68°F], тогда как при температуре ниже -20°С [-4°F] припой имеет долгосрочную несущую способность подобно другим металлам. Чем температура выше 20°С [68°F] и/или выше уровень нагрузки, тем быстрее припой будет ползти и релаксировать напряжение.

Понимание надежности и механизмов разрушения для данной технологии присоединения поверхностным монтажом является первым шагом к проектированию и гарантированию надежности изделия. Для этого необходима обобщенная база данных. Хотя могут возникнуть механизмы разрушения, основанные на монотонной перегрузке, чаще всего угроза надежности идет от усталостного напряжения, основанного на релаксации напряжений. Нужная база данных – это та, которая основана на сочетании испытаний, проводимых по ускоренной и сильно ускоренной программам. Для около-эвтектических свинцово-оловянных припоев такие базы данных существуют, однако их нет для других припоев, в частности, для бессвинцовых.

В данном контексте испытания, проводимые по ускоренной программе, дают значения среднего времени до отказа испытательных структур в 10-20 раз меньшие, чем реальный срок службы при эксплуатации. Испытания, проводимые по сильно ускоренной программе, в 100-500 раз короче. Чем больше ускорена программа испытаний, тем меньше результаты испытаний будут отражать эксплуатационные характеристики в реальных условиях эксплуатации.

Таким образом, ускоренные испытания должны точно воспроизводить предполагаемые условия эксплуатации, тогда как необходимость сильно ускоренных испытаний часто вызвана отсутствием времени и ресурсов, необходимых для проведения ускоренных испытаний.

# 4 МЕТОДИКА ИСПЫТАНИЙ НА ВЫЯВЛЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК

Отдается предпочтение стандартным экспресс-испытаниям на надежность, поскольку результаты могут быть соотнесены для формирования баз данных по эталонной надежности. Стандарт IPC-SM-785 предоставляет техническую базу для проектирования и осуществления экспресс-испытаний на надежность. Рекомендуется использовать данный документ в сочетании со стандартом IPC-SM-785, поскольку данный документ дает понимание физики отказов паяных соединений поверхностного монтажа, а именно, различных механизмов, приводящих к отказам паяных соединений. Помимо определения механизмов разрушений данный документ дает техническую информацию, основанную на эмпирических исследованиях, по которой можно разработать программу экспресс-испытаний. Соответствующие предупреждения и отклонения даны в стандарте IPC-SM-785.

Поскольку усталостная долговечность паяных соединений поверхностного монтажа далеко превышает обычное запланированное время для конструирования и разработки электронных блоков, экспресс-испытания

необходимы для оценки, когда эксплуатационная долговечность является требованием. Данный документ, стандарт IPC-9701, предоставляет рекомендации и методы для разработки экспресс-испытаний на долговечность для оценки оборудования. Хотя экспресс-испытания на долговечность проводятся по соглашению между потребителем и поставщиками, использование данного документа, с небольшими изменениями при необходимости, приведут к стандартизации испытаний на долговечность. Следовательно, содержащиеся в данном документе методы испытаний и требования к ним могут не быть строгими с технической точки зрения. Однако продолжительное их использование и накопление данных приведет к созданию надежной базы данных.

**4.1 Общие требования** Таблица 4-1 перечисляет как предписанные, так и предпочтительные параметры испытаний. Предписанные параметры следует соблюдать без каких-либо отклонений. Соответствие всем предписанным требованиям гарантирует то, что испытания и их результаты будут приняты промышленностью. Отклонение от отдельного предписанного параметра может быть приемлемым для отдельного потребителя, но, в конечном счете, подвергает риску приемку результатов поставщика промышленностью. Для многих параметров рекомендовано использование предпочтительных опорных параметров испытаний для более широкого промышленного соответствия и приемки. Предпочтительные параметры следует соблюдать, пока поставщики не обоснуют, что предложенное ими отклонение предположительно улучшит надежность особого корпуса на уровне платы.

**4.2 Тестовая структура** Надлежащая конструкция и сборка тестовых структур (ТС) являются решающими для обеспечения гарантии получения достоверных и надлежащих данных.

**4.2.1 Описание компонентов** Данный документ полагает, что компонент поверхностного монтажа – это такой компонент, который присоединен на плату при помощи припоя с использованием стандартных технологий оплавления. Корпус BGA, малогабаритный корпус и корпус с размерами кристалла являются типичными примерами компонентов.



**Таблица 4-1 Требования к термоциклированию, предписанные и предпочтительные параметры испытаний в пределах предписываемых условий**

| Условие испытания | Предписанное условие |
|---|---|
| Условие цикла (ТС):<br>*TC1*<br>TC2<br>TC3<br>TC4<br>TC5 | <br>*0°C ↔ +100°C (предпочтительный образец)*<br>-25°C ↔ +100°C<br>-40°C ↔ +125°C<br>-55°C ↔ +125°C<br>-55°C ↔ 100°C |
| Продолжительность испытания | До ПЕРВОГО случившегося условия:<br>50% *(63,2% - предпочтительный)* общий отказ<br>(предпочтительная эталонная продолжительность испытания)<br>или |

| | |
|---|---|
| Требование к числу циклов (NTC):<br>NTC-A<br>NTC-B<br>NTC-C<br><br>NTC-D<br>*NTC-E* | <br>200 циклов<br>500 циклов<br>1000 циклов (предпочтительно для ТС2, ТС3 и ТС4)<br>3000 циклов<br>*6000 циклов (предпочтительный образец ТС1)* |
| Низкотемпературный период покоя<br>Температурный допуск (предпочтительный) | 10 минут<br><br>+0/-10°С (+5/-10°С) |
| Высокотемпературный период покоя<br>Температурный допуск (предпочтительный) | 10 минут<br><br>+10/-0°С (+5/-0°С) |
| Скорость изменения температуры | ≤20°С в минуту |
| Полный размер серийного образца | 33 компонентных образца<br>(32 испытательных образца плюс один для поперечного рассечения и дополнительно 10 образцов для восстановления, если возможно) |
| Толщина печатной платы | 2,35 мм |
| Условия по корпусу/кристаллу | Кристалл/корпус с последовательным соединением (смотри таблицу 4-2) |
| Контроль испытания | Непрерывный контроль (смотри Таблицу 4-4, предпочитаемый образец – определитель явлений) |

Данный стандарт по квалификационным испытаниям и требованиям рассмотрит надежность паяных соединений и термомеханическое взаимодействие компонентов и печатной платы, тогда как другие термоциклические взаимодействия на уровне печатной платы, например, отслоения, трещины переходных отверстий, диэлектрические трещины и тому подобное, наиболее надлежащим образом рассматриваются в стандартах по квалификационным испытаниям компонентов.

Стандартное условие данного стандарта предписывает использовать кристалл с последовательным соединением для гарантии того, что надежность шариков припоя, материалов корпуса и межкомпонентного соединения на уровне кристалла –все будет охарактеризовано во время термоциклирования на уровне печатной платы. Случаи освобождения от выполнения требования по использованию кристалла с последовательным соединением перечислены в Таблице 4-2. Случаи освобождения от соблюдения отдельных параметров даны в Таблице 4-3. Механический кристалл, если разрешено его использование, должен точно копировать реальный кристалл касательно размеров и межкомпонентного соединения на уровне кристалла, но требуется присоединить последовательные пары или активную силиконовую схему.

**Таблица 4-2 Требования к последовательному соединению**

| Категория освобождения | Предписанное условие |
|---|---|
| Полное снятие характеристик изделия (стандартное) | Кристалл с последовательным соединением |
| Категория освобождения А (смотри Таблицу 4-3) | Подложка корпуса с последовательным соединением и механический кристалл (предпочтительный кристалл с последовательным соединением) |
| Керамический корпус (подложка >1 мм толщиной со средним модулем 240-250 Гпа) | Подложка корпуса с последовательным соединением (предпочтительное последовательное соединение) |

**4.2.1.1 Кристалл/корпус с последовательным соединением** Корпус компонента тестовой структуры и кристалл должны быть типичными образчиками компонента производства. Это означает:

1. Схема размещения компонентов тестовой структуры, конструкция и материалы обязательно должны быть характерными представителями типичного компонента производства, включая связующее вещество для присоединения кристалла и процесс, недоливку и процесс, проволочное соединение/перевернутый кристалл и т.п.
2. Кристалл для компонента тестовой структуры подключен в последовательную цепь, когда возможно (смотри Таблицу 4-2). В тестовой структуре должны использоваться материалы и размеры корпуса, характерные для единиц производства, и она должна подсоединяться к внешним выводам/шариковым выводам/контактным площадкам при помощи тех же самых межсоединений кристалла, геометрии трасс, через структуры, числа уровней, и т. п., как в единице производства. Для сокращения дальнейших расходов на испытания кристалл с последовательным соединением должен подходить максимальному размеру кристалла, который предположительно будет использоваться для компонента при производстве.

Что касается пластиковых корпусов BGA/ CSP, то при термоциклировании паяные шариковые выводы под кристаллом должны отказать в первую очередь на уровне печатной платы; поэтому данная область обязательно должна иметь покрытие с последовательным подключением, даже если паяные шариковые выводы исключительно относятся к «земле» и/или «питанию». Что касается керамических компонентов, то угловые шариковые контакты отказывают рано, и их следует рассматривать, как критические. Покрытия с последовательным подключением для паяных шариковых контактов «питание-земля», распределенного в пределах периферической матрицы паяных шариковых контактов корпусов BGA/CSP не требуется;

**Таблица 4-3 Требования к освобождению от испытания –
А: Использование механического кристалла вместо устройства PQ 9701 с последовательным соединением, предварительно прошедшего квалификационную оценку согласно стандарту**

| Если [Новое] устройство не отвечает требованиям, перечисленным ниже для категории освобождения А, тогда по умолчанию применяется полное снятие характеристик изделия | | |
|---|---|---|
| **Описание** | **Освобождение** | **Категория освобождения А** |
| Размер основания корпуса | Данные смотри в оригинале | |

| | | |
|---|---|---|
| Размеры кристалла* | | |
| Диаметр паяного шарикового контакта, если применимо | | |
| Диаметр смоченной припоем контактной площадки, если применимо | | |
| Шаг паяных шариковых выводов или шаг свинцовых выводов | | |
| Зазор между паяными шариковыми выводами или зазор между свинцовыми выводами | | |
| Толщина подложки | | |
| Размеры элемента жесткости и/или теплоотвода, если применимо | | |
| Размеры эпоксидной смолы/герметика | | |
| Размеры креплений* кристалла, если применимо | | |
| Размеры материала недоливки, если применимо | | |
| Критические свойства органических материалов (модуль, коэффициент теплового расширения, предел прочности и т.д.) | | |
| Поставщики органических материалов (подложка, крепление кристалла, формовочная эпоксидная смола, герметик, недоливка*, и т.п.) | | |
| Состав материала выводов и металлизация основания контактов | | |
| Материалы элемента жесткости и/или теплоотвода, если применимо | | |
| Тип контактной площадки паяного шарикового контакта (поверхностного монтажа и т.п.), если применимо | | |
| Компоновки матрицы шариковых контактов (полная матрица относительно мало заполненной), если применимо | | |
| Выполненное числовое/аналитическое моделирование для [НОВОГО] | Предписываемое | Предпочтительное |

| устройства** | | |
|---|---|---|

*Не применяется для керамических подложек толщиной ≥1 мм со средним модулем в диапазоне 240-270 Гпа и без крышки.
**Аналитические методы обязательно должны быть подтверждены путем сравнения прогнозируемых данных с данными по надежности паяных соединений, полученными экспериментальным путем для устройства [PQ9701]. Данные по критическим свойствам (модуль, коэффициент теплового расширения, предел прочности и т. п.) для органических материалов обязательно должны быть получены экспериментальным путем.
[NEW] = новое устройство
[PQ-9701] = устройство, чьи данные испытаний отвечают требованиям стандарта IPC-9701 по полному снятию характеристик изделия

однако модели переплетения последовательных соединений обязательно должны обеспечивать определенный уровень покрытия для всех рядов устройства и/или критических зон.
Конструкции, в которых отдельное непрерывное последовательное соединение контролируется для каждого корпуса, будут рассматриваться, как приемлемые. Однако, предпочтительнее, чтобы несколько сетевых межсоединений (сетей) контролировались независимо на каждой детали, и чтобы данные сетевые межсоединения были сконструированы для того, чтобы предоставлять дополнительную информацию по зонам первого отказа.
Пример для корпуса BGA/CSP, использующий четыре-пять сетей на корпус, мог бы обнаруживать повреждения следующим образом:
(а) Угловые паяные соединения корпуса.
(б) Внешние ряды паяных соединений.
(в) Паяные соединения, находящиеся под или почти под периметром кристалла.
(г) Центральные паяные соединения корпуса, если присутствуют.

Что касается сетевых межсоединений с последовательным подключением, известные зоны с высоким риском отказа должны находиться на отдельных последовательных сетях, в отличие от известных мест с низким уровнем отказа.

**4.2.1.2 Испытание паяных шариковых выводов на сдвиг** Если возможно, проведите испытание паяных шариковых выводов на сдвиг. Минимальная сила сдвига определяется, как среднее значение минус 3 сигма для минимум трех корпусов с 10 паяными шариковыми выводами в каждом. Выполните сдвиг применяя силу к краю корпуса BGA/CSP параллельно плоскости подложки. Высота устройства для сдвига должна оставлять зазор относительно поверхности среза минимум в 50μм. Предпочтительнее проводить испытание на сдвиг при номинальной скорости в 500 μм в секунду. Состоянием отказа для сдвинутых шариковых выводов **должно** быть или массовое разрушение припоя, или отслаивание медных контактных площадок, не приемлем интерметаллический отказ. Испытание на сдвиг при гораздо более высокой скорости рекомендуется проводить для определения влияния скорости сдвига на силу сдвига и механизмы разрушения. Смотри «Испытание на сдвиг шариковых выводов корпусов BGA» в стандарте JESD22-B117.

**4.2.1.3 Требования к документации компонента** Все требования к документации компонента охватывают следующее:

1. Габаритный чертеж корпуса или ссылка на схему JEDEC (на сайте www.jedec.org)
2. Внутренние размеры кристалла (ДхШхВ) и ориентацию (если кристалл не квадратный).

3. Карта последовательных соединений корпуса и/или список сетевых соединений (предпочитаются электронные файлы).
4. Измеренная копланарность паяных шариковых выводов/свинцовых выводов (метод посадочной плоскости или место максимального соответствия)

Стр.10

5. Значения сдвига паяных шариковых выводов или испытание свинцовых выводов на отрыв, если возможно, и состояния отказов для деталей из одной и той же производственной партии, что и испытанные устройства. Испытание на отрыв не является обязательным.
6. Измеренные коэффициенты теплового расширения в планарных направлениях x и y по данным микромуаровой интерферометрии предпочитаются для корпусов для деталей из одной и той же производственной партии, что и устройства, прошедшие испытания. Другие методики, такие как термомеханический анализ, также приемлемы там, где подходят для определения эффективного коэффициента теплового расширения.
7. Размеры контактной площадки, смоченной припоем, если возможно.
8. Тип контактной площадки паяного шарикового вывода, если возможно (определенный шаблон нанесения припоя с покрытием шаблона на контактную площадку, определенный шаблон без нанесения припоя с зазором между шаблоном и площадкой или сквозное межсоединение в контактной площадке).
9. Структура покрытия вывода/металлизации контактной площадки с толщиной всех слоев и состав припоя, если возможно.
10. Иллюстрация, показывающая маршрут последовательного межсоединения, если возможно, от кристалла к выводу.
11. Таблица межсоединений «кристалл - вывод» (предпочитается электронный файл)

**4.2.2 Платы с печатным монтажом (схемой)** Пакет слоев ППМ/ППС, толщина и конструкция контактной площадки могут повлиять на целостность паяного соединения. Номинальная предписываемая ориентировочная толщина ППМ **должна** быть 2,35 мм (смотри Таблицу 4-1). Для первых квалификационных испытаний семейства корпусов предпочтительнее взять две толщины ППМ для того, чтобы облегчить аналитическое обращение к эмпирическим результатам испытаний для применения. Дополнительная толщина ППМ может варьироваться и быть больше и/или меньше, в зависимости от использования пользователем.

Дополнительно к структуре слоев тестовой структуры (ТС) ППМ, рекомендованной ниже, важно, чтобы она имела четное число слоев, приводящее к симметричному поперечному сечению. Данная симметрия также применяется к сигнальным уровням. Это необходимо, поскольку медь и эпоксидная смола/стекло имеют разные коэффициенты теплового расширения, и ППМ перекосится во время обработки, если не будет симметричной. Рекомендуется использовать стандартную методику проектирования ППМ для проектирования тестовой платы с последовательным соединением. Это должно включать в себя определение корпуса(ов), подлежащих испытанию в библиотеке компонент наряду с любыми соединителями (если они

используются), объединение последовательной взаимосвязанности всех используемых корпусов в определения компонент и создание фактического описания схемы для тестовой платы. При выполнении этого, тестовая плата может быть сконструирована при помощи стандартной методики проектирования, которая используется для промышленной ППМ.
Данный технологический процесс проектирования включает в себя интерактивные средства проектирования и проектные проверки, которые гарантируют подсоединение всех сетевых соединений. Выполнение вышеуказанного значительно увеличивает возможность создания хорошей первичной конструкции ТС ППМ. И наоборот, допущение, что это – «простая» тестовая плата, и проектирование по системе автоматизированного проектирования, которая не проверяет правильные электрические соединения всех частей, значительно увеличивает возможность отказа.

**4.2.2.1 Требования к проектированию тестовой платы** Нижеуказанные требования включают в себя все самое необходимое для проектирования тестовой платы:

1 Для плат с печатным монтажом (ППМ) предпочтение отдается ППМ с толщиной 2,35мм с минимум шестью медными слоями; для боле толстых или тонких ППМ число слоев должно быть пропорционально увеличено или уменьшено соответствующим образом.
2 Для размеров корпуса больше, чем 40мм предпочитается использование ППМ с толщиной 3,15 мм с минимум восемью медными слоями.
3 Предпочтительно, чтобы ТС ППМ имела тот же самый материал и пакет слоев, что и промышленная ППМ; однако во всех случаях измерение температуры стеклования, $T_g$, а также коэффициента теплового расширения в планарных направлениях x и y обязательно.
4 Характерные слои «питание – земля» даже во внутренних слоях (общее число слоев ППМ – четное) должны иметь номинальных 70% медного покрытия.
5 Характерные сигнальные трассы в четных внутренних слоях (общее число слоев ППМ – четное) должны иметь номинальных 40% медного покрытия.
6 Предпочитается, чтобы последовательные сетевые межсоединения были только во внешних слоях.
7 Предпочитается, чтобы трассировка дорожки была изолированной таким образом, чтобы устройство могло бы быть отрезано без ущерба для других устройств на плате. Дополнительные контрольные дорожки должны быть размещены согласно проекту рядом с контактными площадками для использования только во время измерения высоты паяльной пасты автоматическими зрительными системами, такими как трехмерный лазер. Данные дорожки необходимы, поскольку зрительная система требует ссылку на поверхность контактной площадки, которая покрыта паяльной пастой.
8 Хотя последовательным сетевым межсоединениям обычно не требуется переходных отверстий ТС ППМ, тестовая структура (ТС) ППМ обязана иметь переходные отверстия на минимум 50% мест расположения контактных площадок, чтобы привести в соответствие механическое влияние переходных отверстий на промышленную ППМ.
9 Предпочитается проводить обработку поверхности органическим консервантом, сохраняющим паяемость(OSP). Выравнивание припоя горячим воздухом (HASL) не обязательно и проводится по желанию.

10 Определенный шаблон без нанесения припоя обязателен, если возможно
11 Предпочитается, чтобы диаметр контактной площадки ППМ для присоединения паяного шарикового вывода составлял от 80 до 100% диаметра контактной площадки компонента, смоченной припоем.
12 Требуется несколько контрольных контактных площадок для каждого последовательного сетевого межсоединения для облегчения анализа отказов.
13 Предпочтительно, чтобы номинальная толщина меди во внешнем слое была 35 µм.
14 Предпочтительно, чтобы ширина дорожки во внешнем слое была 150 µм.

Стр.11

15 Требуется минимум 5-мм зазор плюс место для трассировки для удаления отказавшего корпуса, если возможно, между основанием корпуса и соседними корпусами, соединителями или ребром платы.
16 Что касается совмещения шаблона нанесения припоя, не разрешается нахлестка на контактных площадках поверхностного монтажа. Не разрешается наличие припоя на контактных площадках с определенным шаблоном без нанесения припоя.
17 Что касается коробления платы, необходимо, чтобы коробление ППМ находилось в пределах значений, определенных промышленными стандартами, такими как IPC-2221, IPC-6012 и IPC-A-600. Данные стандарты трактуют коробление ППМ как «изгиб и скручивание».
18 Компоненты, которые предполагается использовать в узлах двусторонних плат должны походить испытания на конфигурации для двусторонних плат.
19 Для облегчения сборки, ускоренного термоциклирования, анализа отказов должна иметься номенклатура шелкового трафарета или медное травление, включая, но, не ограничиваясь условными обозначениями, четко помечающими все компоненты на тестовой плате и все контрольные точки, и местоположение штырька 1 для правильной установки корпуса на узел печатной платы.

**4.2.2.2 Тестовая плата, конструкция с последовательным соединением**

Комбинация звеньев последовательного соединения на компоненте и на ТС ППМ должна привести к законченному последовательному сетевому межсоединению после сборки. Предпочтительно, чтобы звенья последовательного соединения были размещены на верхнем слое ППМ там, где это возможно. Все это – для того, чтобы избежать неправильного трактования отказов последовательных соединений из-за отказов переходных отверстий.

Весьма предпочтительно, чтобы экспресс-испытания проводились на несмонтированной ППМ до сборки для гарантии качества и минимизации вероятности возникновения отказов переходных отверстий во время испытаний на уровне платы. Последовательные соединения компонента/ППМ должны быть под непрерывным контролем. Однако, предпочтительно, чтобы несколько контактных площадок для ручного измерения были расположены в пределах каждого последовательного сетевого межсоединения для облегчения обнаружения повреждения. Использование нескольких мест расположения перемычек в пределах каждого последовательного сетевого межсоединения

может сделать возможным непрерывность испытания устройства для дополнительного определения местонахождения неисправностей.

**4.2.2.3 Требования к документации тестовой платы** Перечисленное ниже покрывает все требования к документации тестовых плат:

1. Пакет слоев ППМ.
2. Диэлектрический материал.
3. Предпочитается наличие внутренней геометрии дорожек, плоскостей и переходных отверстий.
4. Внешние геометрии.
5. Электролитически осаждаемое покрытие
6. Измеренные коэффициенты теплового расширения в планарных направлениях x и y, термомеханический анализ или муаровая интерферометрия, наличие предпочитается.
7. Измеренная температура стеклования, $T_g$.
8. Ориентация тестовой платы в термокамере.

**4.2.3 Сборка платы** Для многих случаев применения устройства поверхностного монтажа устанавливаются на печатные платы при помощи не только конвейерной печи с массовым оплавлением, но также при помощи станций восстановления горячим газом. Следовательно, предпочтительно, чтобы устройства с последовательным соединением устанавливались на тестовые платы с использованием обоих методов оплавления. Понятие восстановление применяется к операциям оплавления с использованием восстановительного оборудования, а не повторное использование каких бы то ни было устройств. Устройства для восстановления **должны** использоваться в первый раз и быть идентичны устройствам, смонтированным с использованием массового оплавления.

Влагопоглощение компонентов с последовательным соединением как перед процессом сборки массовым оплавлением, так и перед процессом сборки восстановлением, может привести к расслаиванию на различных интерфейсах корпуса. Несколько исследований также показали, что множественность параметров сборки платы отрицательно сказывается не только на объеме выпуска изделий, но и на надежности паяных соединений. Следовательно, наличие документации по сборке тестовой платы, перечисленной ниже, в документации, идущей в комплекте с результатами испытаний на надежность паяных соединений, является критичным.

Теплоотвод, установленный механическим способом или при помощи клеящих средств, может отрицательно повлиять на надежность паяных соединений, и может потребоваться проведение его оценки в испытаниях, отражающих специфику его применения, отдельно от данного стандарта.

**4.2.3.1 Требования к сборке платы** Параметры процесса размещения сборки платы обязательно должны быть оптимизированы до сборки. Примерами параметров процесса оптимизации являются объем припоя, совмещение паяльной пасты, скорость печати, давление влагоснимателя, отключение трафарета, профиль температур и т.п.

Если возможно, следует использовать процедуры сохранения/обжига «Обжиг компонентов перед производством узлов плат».

Если подходящий уровень влагоустойчивости или требования спецификации обжига для устройства не урегулированы, тогда требуется стандартный 24-часовой обжиг при 125˚С.

Если возможно, следует использовать процедуры сохранения/обжига «Обжиг узлов плат перед производством обработки восстановления».

Если подходящий уровень влагоустойчивости или требования спецификации обжига для устройства не урегулированы для печатной платы, тогда требуется стандартный 24-часовой обжиг платы при 105˚С.

**Должен** быть проведен рентгеновский анализ всех паяных соединений в рамках проверки узлов для выявления дефектов паяных соединений. Дефекты, подлежащие выявлению, включают в себя: мостик в припое, разрыв в припое, пропущенные контакты под пайку, большое число пропусков, неправильное относительное расположение паяных шариковых выводов и отсутствие скруглений. Узлы с серьезными неисправностями не должны проходить процедуру оценки надежности. Рекомендуется повторить оптимизацию производственных процессов при обнаружении серьезных неисправностей.

Все узлы обязательно должны пройти испытания на электропроводность. Любой разрыв, короткое замыкание или нарушение в начальном сопротивлении последовательного соединения не приемлемо. Образцы с любыми разрывами, короткими замыканиями или нарушениями в начальном сопротивлении не должны контролироваться при ускоренном термоциклировании.

Стр. 12

**4.2.3.2 Документы на узел тестовой платы** Ниже представлены требования к надлежащей документации к узлу тестовой платы:

1 Описание температур оплавления, включая температуру предварительного подогрева, скорость изменения, критичные пиковые температуры (припой, поверхность корпуса, плата и т. п.), продолжительность в условиях превышения температуры ликвидуса припоя и скорость охлаждения. Включить сюда газовую среду в зоне оплавления и места размещения термопар и конфигурации соединений.

2 Состав припоя и процентное содержание металла в паяльной пасте, размер ячеи частиц и тип флюса.

3 Номинальный объем паяльной пасты.

4 Номинальный зазор паяного соединения.

5 Номинальный диаметр шарикового вывода или форма скруглений, предпочтительно по диагональному сечению и/или послойному рентгеновскому исследованию.

6 Число выполненных операций восстановления (по умолчанию = одна) на каждой установке для восстановления тестовых плат.

**4.3 Методы ускоренного температурного испытания**

**4.3.1 Подготовка изотермическим старением** Отдельные некоммерческие потребители предпочитают, чтобы тестовые структуры вслед за узлами плат подвергались ускоренному термическому старению (например, 24 часа при 100С (-0/+5С)) в воздухе для моделирования разумного периода эксплуатации и для ускорения таких возможных процессов, как рост зерен припоя, рост интерметаллических соединений и окисление. Хранение тестовых структур после такого искусственного старения в течение некоторого дополнительного

времени при комнатной температуре до начала испытаний на усталость оказывается полезным для стабилизации структуры припоя в дальнейшем.

**4.3.2 Термоциклирование** Примечание: параграфы, отмеченные звездочкой (*), являются перепечаткой текстов из JESD22-A104-B.

**4.3.2.1 *Температурные камеры** Используемая камера(ы) **должна** быть способна обеспечивать и контролировать определенные температуры и хронометрирование цикла в рабочей зоне(нах), будучи загруженной и с максимальной нагрузкой. Прямое распространение тепла на образец(ы) **должно** быть минимизировано. Способность каждой камеры достигать требований по температуре образца **должна** быть проверена у каждой камеры одним или обоими из следующих методов:

а) Периодическая калибровка с использованием деталей с измерительной аппаратурой и с максимальной нагрузкой и непрерывный контроль во время каждого испытания за такими измерениями температуры термопары неподвижного инструмента, которые достаточны для гарантии воспроизводимости.

б) Непрерывный контроль во время каждого испытания за деталями с измерительной аппаратурой или деталями, помещенными в места с температурой наихудшего случая (например, это могут быть углы и середина нагрузки).

**4.3.2.2 *Процедура испытания** Образец(ы) **должен** быть размещен таким образом относительно воздушного потока, чтобы вокруг каждого образца(ов) большей частью не было препятствий для потока воздуха. Когда требуется особый контроль, он **должен** быть специфицирован. Образец затем должен быть помещен в определенные условия термоциклирования на определенное количество циклов. Выполнение всех циклов, определенных для испытания, может быть прервано для загрузки в испытательную камеру партий устройств или изъятия их, для ручной проверки перебоев, или в результате нарушения электроснабжения или отказа оборудования. Однако число перебоев **должно** быть минимизировано.Если термопара установлена на корпусе образца, количество используемого клея или клейкой ленты **должно** быть минимизировано для гарантии правильных измерений температуры. Термопара или эквивалентное устройство для измерения температуры, используемый метод присоединения должны гарантировать то, что вся масса образца(ов) достигает максимальных значений температур и выполняет требования по периодам покоя и выдержки.

При испытаниях межсоединений на усталость паяных соединений важно избегать кратковременных градиентов температуры в образцах, находящихся в процессе испытаний. Образцам с большой термальной массой и низким коэффициентом теплопередачи требуются скорости изменения температур достаточно низкие для компенсации термальной массы. Во время изменений температуры температура образца должна находиться в пределах плюс-минус несколько градусов от температуры внутри камеры. Для образцов с большой термальной массой может потребоваться использование однозонной камеры для достижения предписанной скорости изменения температур.

Следующие условия являются обязательными или предпочтительными, как описано ниже:

а) Предпочтительно, чтобы собранные платы были расположены вертикально и параллельно потоку воздуха в предпочитаемая однозонная камера с воздухом.

б) Предпочтительно, чтобы измерения температуры плат выполнялись на шести платах в разных местах камеры, двух в центральной зоне камеры и четырех ближе к периметру.
в) Период покоя в конце каждого температурного предела, скорости нагрева и охлаждения (скорости изменения температур) – как указано в Таблице 4-1. Используйте среднее значение термопар на платах для определения скоростей изменения температур. Скорость изменения следует измерять между верхним пределом выдержки при низкой температуре и нижним пределом выдержки при высокой температуре.

**4.3.3 Контроль испытаний**

**4.3.3.1 Контроль температур** Требования по контролю температур даны в Таблице 4-4.

**4.3.3.2 Электрический контроль последовательных соединений**

Требования по электрическому контролю последовательных соединений даны в Таблице 4-4. Непрерывный электрический контроль обязательно должен выполняться детектором явлений и/или регистратором данных, хотя технические приемы детектора явлений являются предпочтительным (не обязательным) эталонным испытанием. Точки для считывания данных вручную не являются приемлемой альтернативой для непрерывного контроля.



**Таблица 4-4 Требования по контролю испытаний**

| Параметр испытания | Обязательное условие |
|---|---|
| Температура (описание параметров камеры) | Температура компонентов, подлежащая контролю и регистрации в каждом месте размещения платы в камере, во время настройки камеры. Изучение описания параметров следует выполнять с учетом характерных нагрузок на образец, конфигураций тестовых плат и крепежной оснастки. |
| Температура (проведение испытаний в камере) | Непрерывный контроль за температурой компонентов, по меньшей мере, двух устройств, итого на двух тестовых платах (центр камеры и периметр), а также за средой камеры. |
| Электрический (высокие и низкие температуры) | Постоянный скачкообразный контроль явлений (предпочитаемый образец)<br>ИЛИ<br>Непрерывный контроль электрического сопротивления (максимальный интервал сканирования всех цепей = одна минута). Ручной контроль не разрешен. |
| Определение отказов | Детектор явлений: 1000 Ω, 10 явлений (максимум), продолжительность 1 микросекунда (максимум), первый отчет – время до отказа<br>И/ИЛИ<br>Регистратор данных/вольтметр: 20% рост номинального сопротивления (максимум), пять показаний/сканирований (максимум) |

Трещины в паяных соединениях почти всегда обнаруживают себя с электрической точки зрения в качестве очень кратковременных разрывов или соединений с высоким сопротивлением. Первичное преимущество детектора явлений заключается в способности зафиксировать данные прерывистые явления высокого сопротивления, которые обычно предшествуют некоторому росту сопротивления, вскоре после возникновения полного разрушения паяного соединения. Наиболее значительными недостатками детектора явлений являются ложные обнаружения отказов из-за малых электрических помех в испытательной установке, оснастке и/или разъемах. Регистратор данных выявляет и записывает изменения сопротивления. Обязательно использование регистратора данных для сканирования интервалов с продолжительностью менее одной минуты. Помимо использования метода непрерывного контроля требуется и ручная проверка для уменьшения вероятности ложных отказов из-за возможных проблем с проводами, разъемами, ТС ППМ или испытательной установкой.

Ручной контроль на интервалах термоциклирования не является приемлемой альтернативой постоянному контролю. Ручной контроль не только пропускает ранние отказы при высоких/низких температурах, но и точность продолжительности существования отказов зависит от частоты ручной выборки. Более того, данный метод нарушает целостность испытаний, является неточным в обнаружении отказов при их возникновении и отнимает много времени.

**4.3.3.3 Определение отказов** Отказ определен для обнаружителя явлений как первое отключение в одну микросекунду или меньше и рост сопротивления последовательного соединения до 1000 Ω или более, и подтверждение отказа дополнительно девятью или больше явлениями в пределах 10% циклов до раннего отказа. Требуется, чтобы большое число отказов контролировалось для гарантии того, что отказы происходят из-за межсоединений. Явления отключений из-за отказов, не связанных с межсоединениями, таких как, нарушения в работе оборудования/программного обеспечения, **должны** быть документально зафиксированы.

Для регистраторов данных отказ определен как максимум 20%-й рост номинального сопротивления в пределах минимум пяти последовательных сканирований данных.

Определения отказов даны в Таблице 4-4.

# 5 ТРЕБОВАНИЯ К КВАЛИФИКАЦИОННЫМ ИСПЫТАНИЯМ

**5.1 Диапазоны термоциклирования** Требования к термоциклированию даны в Таблице 4-1. Требование к термоциклированию для любого изделия должно определяться пользователем или потребителем для соответствия особым условиям эксплуатации изделия. Предпочтительным образцом должны быть условие термоциклирования TC1 (0°C - 100°C) и продолжительность испытания NTC-E (6000 циклов) для принятия результатов испытаний более широким сектором промышленности.

Требования по термоциклированию даны в Таблице 4-1.

Четыре диапазона термоциклирования «Условие испытания» и их допустимые температурные допуски определены в Таблице 4-1. За исключением допусков

условия испытаний TC1, TC3 и TC4 таковы же, как и условия испытаний J, G и B соответственно в стандарте.

***ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ:** Следует быть осторожным при выборе условий, поскольку: 1) требование по максимальной температуре T(мах) для определенного условия испытания может превысить температурный интервал стеклования ($T_g$ минус 25°C) печатной платы, что может привести к значительному изменению физических свойств ППМ и вызвать нелинейное изменение в условиях нагружения, 2) требование по максимальной температуре T(мах) для определенного условия испытания может превысить температуру стеклования некоторых материалов компонентов, что может задействовать механизмы разрушения обычно не наблюдаемые во время эксплуатации, предусмотренной конструкцией изделия, и 3) разность коэффициентов теплового расширения по всему температурному диапазону условия испытания может привести к раннему отказу сквозных металлизированных отверстий в тестовой плате, тем самым ограничится возможность электрического снятия показаний с деталей, проходящих испытание.

Дополнительными недостатками условий испытаний TC3 и TC4 являются:
1) сокращенная совместимость с переходными отверстиями с высоким форматным соотношением на тестовых платах.

Стр. 14
2) уменьшенное соотношение смоделированных и измеренных характеристик материалов в более широком температурном диапазоне.
3) уменьшенная точность экстраполированных сроков службы в диапазонах относительно мягких температур реальных условий эксплуатации для большинства случаев применения в электронике.

**5.2 Продолжительность термоциклирования** Требования по продолжительности термоциклирования для любого изделия должны определяться пользователем или потребителем для соблюдения особых условий эксплуатации изделия. Требования по продолжительности термоциклирования даны в Таблице 4-1. Предпочтение следует отдавать условию термоциклирования TC1 (0-100°C) и продолжительности испытания NTC-E (6000 циклов). Испытание всегда проводится до 63% отказов для определения распределения отказов.

***ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ:** Следует быть осторожным при экстраполяции к результатам экспресс-испытаний для жизненного цикла изделия в процессе эксплуатации. Короткие периоды покоя/выдержки при максимальных температурах приводят к незавершенности процесса ползучести. Тем самым, даже хотя диапазоны приложенных напряжений могут быть больше для ускоренного испытания, чем при эксплуатации, циклическая петля гистерезиса для испытания может быть меньше. Ускорение испытания – это в первую очередь более короткое время до отказа и не обязательно меньшее число циклов до отказа.

Когда происходит 50% (предпочтительно 63,2%) общего отказа образцов до определенных уровней NTC, тогда продолжительность испытания определяется числом циклов до отказа последних отказавших образцов.

**5.3 Число образцов** Для стандартного снятия характеристик изделия обязательно использовать 33 компонента (смотри таблицу 4-1). Из них 32 должны быть подвергнуты испытаниям, а один образец должен быть рассечен поперек после сборки. Для полного стандартного снятия характеристик настоятельно рекомендуется использовать минимум 10 дополнительных новых образцов для сборки восстановлением и ее влияние на надежность.

Что касается категории освобождения А (смотри таблицу 4-3), дополнительных образцов для испытаний восстановления не требуется.

**5.4 Требования к освобождению от испытаний** Условия, которые должны быть выполнены для получения освобождения от испытания, перечислены в Таблице 4-3 в колонке «Освобождение». Не требуется проведения испытаний [нового] устройства, со стандартным описанием защитных характеристик согласно стандарту IPC-9701, и отвечающего требованиям по освобождению в данной колонке.

## 6 АНАЛИЗ ОТКАЗОВ

Очевидной целью анализа отказов является возможность выявить местонахождение, вид и механизм наблюдаемого электрического отказа. Во многих случаях совершенно не является очевидным то, что повреждение локализуется в кабеле/разъеме испытательного оборудования, тестовой плате паяном соединении или внутреннем межсоединении корпуса. Продуманная конструкция тестовой платы, кристалла с последовательным соединением и общей схемы межсоединений могут способствовать более легкому обнаружению повреждения.

**6.1 Процедура проведения анализа отказов** Традиционные методы проведения анализа отказов включают в себя оптическую и сканирующую электронную микроскопию (SEM), рентгеновский анализ и двойную сканирующую акустическую микроскопию (CSAM), рассечение (поперечное и параллельное) и выдержку собранного блока в красящем веществе под давлением с последующим механическим удалением корпуса. После неразрушающего получения характеристик отказов предпочтительно выполнить поперечное рассечение и оценку методом выдержки собранного блока в красящем веществе под давлением с последующим механическим удалением корпуса.

Для испытаний, остановленных в конце уровня с отрицательным температурным коэффициентом с НУЛЕВЫМ отказом, поставщик обязательно должен провести анализ отказов (минимум три произвольно выбранных устройства на один тип тестовой платы) для гарантии того, что отказы не были пропущены из-за ошибок в конструкции последовательных соединений или испытательного оборудования.

**6.2 Требования к документации по анализу данных и анализу отказов**

Следующая документация обязательна:

1 Детальное описание всей экспериментальной аппаратуры, включая тепловую камеру и систем сбора данных.

2 Графики зависимости температуры от времени как для плат, так и для камеры (параметрические данные настройки камеры).
3 Графики зависимости сопротивления от времени для образцов регистратора данных.
4 Табличные данные по числу циклов до отказа для всех отказов, предпочитается электронный файл(ы).
5 Двухпараметрные графики Вейбулла для всех отказов, предпочтительно.
6 Образцы анализов отказов и определение видов отказов (выдержка собранного блока в красящем веществе под давлением с последующим механическим удалением корпуса, CSAM, рассечение, рентгеновский анализ или любая подходящая техника снятия характеристик) и определение основной причины отказов трех образцов, как минимум, на один тип тестовой платы, и отказ с катастрофическими последствиями.
7 Для испытаний, остановленных на уровне с отрицательным температурным коэффициентом (NTC) с НУЛЕВЫМ отказом, документация по анализу отказов трех произвольно выбранных устройств, как минимум, на один тип тестовой платы.
ного типичного узла корпуса/платы.

# 7 ГАРАНТИЯ КАЧЕСТВА

**7.1 Ответственность за проверку** Если иное не предусмотрено в контракте, поставщик несет ответственность за выполнение всех требований по проверкам для гарантии соответствия качества требованиям проверки, определенным в данном документе. Пользователь оставляет за собой право выполнения любых проверок, описанных в данной спецификации, там, где такие проверки считаются необходимыми для гарантии того, что поставки и услуги соответствуют принятым требованиям.

## 7.2 Проверка на соответствие качеству

**7.2.1 Проверка сразу после сборки** Проверка узлов на серьезные неисправности паяных соединений **должна** проводиться при помощи неразрушающего метода рентгеновского изучения, как определено в 4.2.3.1. Неразрушающая проверка наряду с

Стр. 15

проверкой образцов рассечением, определенной в 5.3, **должна** использоваться для определения наличия серьезных неисправностей узлов. Если серьезные неисправности связаны с неоптимизированным процессом сборки, тогда новые узлы должны быть собраны после проверки компонентов и плат для гарантии соответствия общих требований, определенных в 4.2.2 и 4.2.3 и дальнейшей оптимизации сборочного процесса. Ключевыми параметрами проверки являются:
1 **Компоненты** Проверка копланарности компонентов для обеспечения соответствия требованиям JEDEC. Проверьте рекомендуемый обжиг компонентов и обеспечьте соответствие.
2 **ППМ** Проверка коробления ППМ на соответствие требованиям IPC. Визуальный осмотр рассовмещения шаблона припоя и документация по шаблонному покрытию на контактной площадке. Шаблонное покрытие не разрешено.

3 **Узел** Проверка типа и срока годности паяльной пасты, лопатки влагоснимателя, трафарета, консистенции паяльной пасты на ППМ и размещения корпуса. Требуется, чтобы паяльная паста покрывала все контактные площадки. Проверьте профиль оплавления для гарантии соответствия производственной практике.

**7.2.2 Проверка термоциклирования** Проверка **должна** проводиться, по меньшей мере, на трех образцах профилей температур, выработанных термопарами за три периода термоциклирования: начало, середина и завершение, для гарантии того, что они соответствуют требованиям условий термоциклирования, определенным в Разделе 5.

**7.2.3 Проверка анализа отказов** Анализ отказов **должен** быть произведен, как определено в разделе 6.1. Что касается испытания, остановленного в конце уровня NTC с НУЛЕВЫМ отказом, для отображения должны использоваться образцы с поперечным рассечением и выдержанные в красящем веществе для гарантии того, что условие нулевого отказа соблюдено.



# ПРИЛОЖЕНИЕ А

## А.1 ФАКТОРЫ УСКОРЕНИЯ

Аналитическая модель и модель вычислений не полностью разработаны, чтобы заменить эмпирическую оценку надежности паяных соединений. Моделирование надежности паяных соединений для выведения факторов ускорения может быть и простым и сложным в зависимости от опытности и имеющихся в наличии средств. Однако, конечные пользователи компонентов все больше и больше углубляют как эмпирическое таки расчетное изучение надежности паяных соединений для определения реальных эксплуатационных сроков существования. Рекомендуется поставщикам, ответственным за конструкцию и выбор материалов для корпуса, предоставлять механические модели и таблицы свойств материалов для устройства, проверяемого эмпирически.

Существует два фактора ускорения (AF), которые нужно учесть: AF(циклы), который соотносит циклическую усталостную долговечность паяных соединений, полученную в испытании, со сроком службы изделия в заданных эксплуатационных условиях; и AF(MMTF), который соотносит время до отказа паяных соединений, полученное в испытании, со сроком службы изделия в заданных эксплуатационных условиях. Фактор ускорения в переводе на циклы до отказа таков:

$$AF(\text{циклы}) = \frac{N_f(\text{изделие})}{N_f(\text{испытание})}$$

(Уравнение 1)

где $N_f$(изделие) – средняя усталостная долговечность, $N_f(50\%)$, изделия в эксплуатации и $N_f$(испытание) - средняя усталостная долговечность, $N_f(50\%)$, тестовых структур, имитирующих изделие, подвергаемое испытанию. Фактор ускорения в переводе на время до отказа таков:

$$AF(MMTF) = AF(\text{циклы}) \times \frac{f(\text{испытание})}{f(\text{изделие})}$$

(Уравнение 2)

где f(испытание) – циклическая частота испытаний, и f(изделие) – циклическая частота при эксплуатации.

## А.2 ПРИМЕР РАСЧЕТА ФАКТОРА УСКОРЕНИЯ

Ниже приводится один пример такого расчета для сравнения влияния ключевых переменных, который следует использовать только в качестве ориентира. Подобные расчеты факторов ускорения на основе других моделей будут вноситься в документ по мере их доступности.

Факторы ускорения, приведенные ниже, основаны на модели Энгельмайера-Уайлда, описанной в стандарте IPC-D279, Приложение А-3.1. Необходимо заметить, что диапазоны термоциклирования для условий испытаний ТС3 и ТС4 нарушают предупреждения для основной модели; данные предупреждения – результат поведения материалов припоя в зависимости от времени, температуры и напряжения.

В модели Энгельмайера-Уайлда показатель усталостной вязкости, m, приведенный ниже, принимает во внимание незавершенный процесс ползучести/релаксации напряжений в паяных соединениях во время экспресс-испытаний. Он принимает во внимание более быстрые скорости ползучести при более высоких температурах ($T_{SJ}$, в °С) и более законченную ползучесть для более долгих цикличных периодов покоя ($t_D$=период покоя половины цикла в минутах)

$1/m = 0,442 + 6x10^{-4} \bullet T_{SJ} - 1,74x10^{-2} \bullet \ell n(1+ 360минут/t_D)$

(Уравнение 3)

Средняя циклическая температура паяного соединения, $T_{SJ}$, дана в уравнении ниже.

$T_{SJ} = ¼ [T(max, comp.) + T(max, sub.) +T(min, comp.) + T(min, sub.)]$

(Уравнение 4)

В таблице А-1 значения для m даны для четырех (4) уровней испытаний и некоторых типичных температурных циклов изделия.

Для различных условий испытаний значения m различны, потому что $T_{SJ}$ различна для каждого уровня испытаний; для типичных циклов изделия значения m одинаковы, потому что во всех случаях $T_{SJ}$ = 30°С, а $t_D$ = 660 минут.

В Таблице А-2 значения для средней усталостной долговечности, $N_f$ (50%), для заданного компонента с фиксированными проектными параметрами даны для четырех (4) уровней испытания и четырех (4) типичных циклов изделия, приведенных в Таблице А-1, основанных на модели развития усталости паяного соединения в стандарте IPC-D-279, Приложение А. Также даны значения факторов ускорения AF(N) и факторов ускорения в выражении среднего времени до отказа AF(MMTF).

Следует отметить, что все значения $N_f$ и AF даны для идентичных компонентов на идентичных печатных платах, а отличие их в реальной жизни обусловлено разницей в условиях испытаний и эксплуатации изделия.

Стр.17

**ТАБЛИЦА А-1 Значения показателя «m» для четырех уровней условий испытаний и четырех характерных условий эксплуатации изделия**

| Условие испытания | | | | | Типичные циклы изделия | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| испытание | ΔT | T(min) | T(max) | m | ΔT | T(min) | T(max) | m |
| TC1 | данные | смотри | в | оригинале | | | | |
| TC2 | | | | | | | | |
| TC3 | | | | | | | | |
| TC4 | | | | | | | | |

**ТАБЛИЦА А-2 Средняя усталостная долговечность для заданного узла компонента для четырех уровней условий испытаний и четырех характерных условий эксплуатации изделия и соответствующие факторы ускорения**

| Условие испытания | | | Типичные циклы изделия | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| испытание | ΔT | $N_f$(50%) $N_f$(1%) | ΔT | $N_f$(50%) $N_f$(1%) | AF(N) | AF(MTTF) |
| TC1 | данные | смотри | в | оригинале | | |
| TC2 | | | | | | |
| TC3 | | | | | | |
| TC4 | | | | | | |

Стр. 18

# ПРИЛОЖЕНИЕ В

## Руководство по термоциклированию для бессвинцовых паяных соединений

### В.1 ЦЕЛЬ

Данное руководство предоставляет дополнительные рекомендации к указанным разделам стандарта IPC-9701 для проведения испытаний бессвинцовых паяных соединений. Рекомендации по изменениям в профиле термоциклирования, данные здесь, основаны на современном понимании промышленности и результатах испытаний. Данные по влиянию различных профилей термоциклирования на результаты экспресс-испытаний в сравнении с эвтектическим свинцово-оловянным припоем продолжают собираться промышленными специалистами.

В настоящее время существуют лишь ограниченные данные и понимание по определению факторов ускорения и моделей ускорения для бессвинцовых припоев [B1-B14]. Возможно, результаты данного метода испытаний в сочетании с фактором ускоренных испытаний, отличном для каждого бессвинцового припоя, смогут в будущем сформировать возможность расчета надежности изделия.

## B.2 ПРИМЕНЯЕМЫЕ ДОКУМЕНТЫ ПО БЕССВИНЦОВЫМ ПРИПОЯМ

**IPC/JEDEC-JSTD-020** Классификация негерметичных твердотельных устройств поверхностного монтажа по чувствительности к влаге/оплавлению.

## B.3 РУКОВОДСТВО ПО БЕССВИНЦОВЫМ ПАЯНЫМ СОЕДИНЕНИЯМ

Следующие разделы предоставляют дополнительные рекомендации к уже существующим требованиям стандарта IPC-9701 при использовании бессвинцового процесса пайки.

### B.3.1 Рекомендации к п. 2.2, Объединенный промышленный стандарт

Для системы «Олово-серебро-медь» (SAC) следует использовать самую последнюю спецификацию IPC/JEDEC J-STD-020. Следует учитывать данную спецификацию наряду с рекомендациями производителя компонентов по влажности и обжигу до оплавления припоя для того, чтобы убедиться, что тестовые структуры не повреждены в процессе производства.

### B.3.2 Рекомендации к п. 3.3.3, Модель ползучести/усталости припоя

На момент публикации данного приложения не существует полной модели для ползучести/усталости бессвинцового припоя, подобной той, что представлена в Приложении А; хотя в настоящее время существует некоторое количество моделей для SAC припоев, но ни одной для оловянно-висмутового припоя. Примеры таких моделей по надежности в условиях термоциклирования даны в справочных документах [B1-B10]. Обратите внимание, что большинство данных моделей находятся в процессе проверки их правильности, осуществляемом их разработчиками и конечными пользователями. Модели можно подразделить на аналитические [B4, B6, B7], основанные на одномерной энергии деформации [B2] и основанные на энергии деформации конечных элементов [B1, B3, B5, B8, B9, B10]. Из-за эмпирического соотношения моделей с наборами данных по отказам, не связанными между собой (включая различные типы корпусов, узлы печатных плат, температурные условия и критерии отказа) конечным пользователям следует самим определить для себя наиболее подходящие модели для определенной конструкции и условий эксплуатации. Как только полностью проверенные модели станут доступными, они будут включены в обновленную версию данного приложения.

### B.3.3 Рекомендации по таблице 4-1, Профиль ускоренного термоциклирования

Для оловянно-серебряно-медных (SAC) припоев температурный профиль, определенный в таблице 4-1 остается неизменным за исключением периодов покоя. Периоды покоя при самых высоких и низких температурах могут осуществляться при соблюдении следующих двух условий, в зависимости от подхода к определению надежности и от нужд пользователя:

а) ***Условие D10 (10-минутный период покоя)*** – Данное условие требует 10-минутных периодов покоя при крайних высоких/низких значениях температуры. Это, возможно, - наиболее эффективный профиль термоциклирования, поскольку он приводит к наибольшей энергии деформации на единицу времени (с учетом всего цикла) или на единицу времени покоя. Данные по циклам до отказа, собранные в данных условиях следует использовать для «независимых» оценок долговечности бессвинцовых паяных

соединений, а не для сравнений между долговечностью бессвинцовых и свинцово-оловянных соединений. Только когда накопление повреждений будет осмыслено посредством принятых моделей, тогда результаты испытаний могут быть использованы для определения относительных эксплуатационных характеристик бессвинцовых и свинцово-оловянных соединений в условиях эксплуатации изделия.

**б) *Условие D30+ (30-минутный и более долгий период покоя)*** Данное условие требует периодов покоя протяженностью 30 минут и более (60 минут) при крайних высоких/низких значениях температуры для того, чтобы экспериментальным путем вызвать повреждение при ползучести, которое может быть в некотором роде соизмеримым для припоя на свинцовой основе. Может потребоваться моделирование в сочетании с экспериментальными данными, полученными в различные периоды покоя, для лучшего описания такой соизмеримости.

Для припоев на оловянно-висмутовой основе (н-р, 57Bi-42Sn-1Ag) требуется термоциклирование от 0° до 100°С, если только не используются компоненты, покрытые свинцово-оловянным припоем. В таком случае рекомендуется термоциклирование от –25 до +75°С. Профили термоциклирования отличные от указанных не следует рассматривать как приемлемые для данного класса бессвинцовых припоев.

Стр.19

**В.3.4 Рекомендации к п. 4.2.2.1, Обработка поверхности ППМ/ППС, параграф 9**

Для испытаний бессвинцовых паяных соединений следует использовать обработку поверхности органическим консервантом, сохраняющим паяемость (OSP), или отделку поверхности погружением в серебро. Свинцово-оловянная отделка выравниванием припоя горячим воздухом (HASL) на ППМ не должна допускаться к испытанию бессвинцовых компонентов и бессвинцовых припоев. Другие виды отделки поверхности могут использоваться только для внутреннего сравнения данных производителя.

**В.3.5 Рекомендации к п. 5.4, Требования к освобождению от испытаний**

Обратите внимание, что два дополнительных требования были добавлены к Таблице 4-3:

(1) Термоциклирование паяных соединений требуется при изменении покрытия компонентных выводов или сплава паяных шариковых выводов:

| Описание | ОСВОБОЖДЕНИЕ | Категория освобождения А |
|---|---|---|
| Сплав паяных шариковых выводов, покрытие выводов | См. оригинал | |

(2) Требуется термоциклирование паяных соединений при изменении состава паяльной пасты, используемой для сборки 2-го уровня:

| Описание | ОСВОБОЖДЕНИЕ | Категория освобождения А |
|---|---|---|
| Материалы паяльной пасты | См. оригинал | |

## В. 4 ОБНОВЛЕННАЯ ИНФОРМАЦИЯ ПО БЕССВИНЦОВЫМ ПРИПОЯМ

### В.4.1 Другие поправки к спецификации по бессвинцовым материалам

Данная спецификация относится ко многим другим стандартам, связанным с производством тестовой структуры, начиная с компонентов и слоистых материалов до сборки 2-го уровня и процессов восстановления. Некоторые из этих стандартов находятся в настоящее время в процессе доработки промышленностью для учета изменений в условиях производства, необходимых для новых бессвинцовых сплавов. Изменения могут потребоваться для учета более высоких температур производственного процесса второго уровня для оловянно-серебряно-медных или других сплавов и влияния, которое это оказывает на все задействованные материалы. Следует использовать соответствующий измененный документ для бессвинцовых припоев в случаях их использования, а процесс следует полностью задокументировать. Примерами являются IPC-S-816, *Руководство по производству поверхностного монтажа и контрольный лист,* IPC-7711\21, *Руководство по восстановлению и ремонту,* и т. д.

### В.4.2 Механизм разрушения припоя

Механизмы разрушения, описанные в п. 3.6.2, могут не быть соизмеримыми для бессвинцовых припоев. Механизмы разрушения припоя могут измениться при крайне высоких и низких температурах, и, если таковое произойдет, появится необходимость их обоснования.

Кроме того, базовая информация, предоставленная в п. 3.9, действительна для эвтектического свинцово-оловянного припоя, как специально упомянуто в первом абзаце.